

Maisstrohdüngung – mit oder ohne N-Ausgleichsdüngung?

Dr. agr. Christina Stadler

Dezember 2006

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden	2
3	Ergebnisse und Diskussion	2
3.1	Umweltkundliche Aspekte	2
3.1.1	Nitratgehalt im Boden nach der Maisernte	2
3.1.2	N-Dynamik nach Gülleausbringung	3
3.2	Biochemische Eigenschaften von Maisstroh	4
3.2.1	C/N-Verhältnis	4
3.2.2	Inhaltsstoffe	4
3.3	N-Umsetzung von Maisstroh	5
3.3.1	Mineralisation ohne N-Zusatzdüngung	5
3.3.2	Mineralisation mit N-Zusatzdüngung	5
3.3.3	Mineralisation im Vergleich zu Getreidestroh	8
3.3.4	Düngewirkung auf Nachkultur	9
3.4	Bodenkundliche Aspekte	12
3.5	Phytosanitäre Aspekte	12
4	Schlussfolgerungen	13
5	Zusammenfassung	14
	Literatur	15

1 EINLEITUNG

Stickstoff (N) kann nach der Ernte der letzten Hauptkultur leicht ausgewaschen werden. Deshalb ist auf die Herbstdüngung besonderes Augenmerk zu richten. Um das Auswaschungsrisiko zu vermindern, ist der Landwirt angehalten, nur Dünger auf diejenigen Kulturen auszubringen, die im Herbst noch einen N-Bedarf haben. Dies ist auch in der neuen Düngeverordnung vom 10. Januar 2006 verankert.

Nach dieser neuen Düngeverordnung ist nämlich die Nährstoffmenge bei Gülle, Jauche, Geflügelkot, flüssigen organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln mit wesentlichen Gehalten an verfügbarem N, die vor dem Winter nach der Ernte der letzten Hauptfrucht (Aussaat bis 10. August und Beerntung im selben Jahr) ausgebracht werden darf, bis auf die Höhe des aktuellen Düngebedarfs bzw. auf maximal 40 kg/ha Ammonium-N oder 80 kg/ha Gesamt-N begrenzt. Zudem ist die Düngerausbringung nur zulässig zu Zwischenfrüchten und Winterungen mit N-Bedarf oder zu Getreidestroh zur N-Ausgleichsdüngung, um die Rotte zu fördern. Maisstroh gilt in dieser Düngeverordnung nicht als Getreidestroh, folglich darf auch keine N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh erfolgen.

Im Jahr 2006 wird Maisstroh jedoch als Getreidestroh behandelt, somit darf der Landwirt auf dieses Stroh noch im Herbst Gülle fahren. Diese Ausnahmeregelung wurde von Seiten des bayerischen Landwirtschaftsministers gegeben, um vor allem für Veredlungsbetriebe mit hohem Körnermaisanteil Anpassungsmöglichkeiten zu schaffen. Diese Regelung wird aber sehr kontrovers diskutiert, insbesondere die folgenden Punkte sind Gegenstand der Diskussion:

- Unterschiede in der Umsetzung des Getreidestrohs und des Körnermaisstrohs
- N_{\min} nach der Körnermaisernte
- Witterung bei Düngerausbringung
- N-Verlagerung nach Düngerausbringung

Handlungsbedarf hinsichtlich dieser Regelung besteht daher für 2007 und die folgenden Jahre. In diesem Bericht sollen Argumente aufgeführt werden, die für oder gegen eine N-Ausgleichsdüngung zu Körnermaisstroh sprechen. Ziel ist es, schlussendlich eine Gesamtbeurteilung zu geben, die die weitere Behandlung von Getreidestroh gleich Maisstroh für die Zukunft widerlegt oder rechtfertigt und somit die Frage klärt, ob zu Maisstroh eine N-Ausgleichsdüngung erfolgen sollte oder nicht.

2 MATERIAL UND METHODEN

In einer Recherche wurde Literatur, die sich mit der Umsetzung von Maisstroh im engeren oder weiteren Sinne beschäftigt, zusammengetragen. Anhand der vorgefundenen Literatur soll der Themenkomplex näher betrachtet werden.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Umweltkundliche Aspekte

3.1.1 Nitratgehalt im Boden nach der Maisernte

Wird N nach der Ernte der letzten Hauptkultur in tiefere Schichten verlagert, kann er leicht ausgewaschen werden. Wesentliches Augenmerk ist deshalb auf den N_{\min} -Wert nach der Ernte der Kultur zu richten. Die Höhe des N_{\min} -Wertes ist ein entscheidendes Kriterium für eine Herbstdüngung.

WIEKER et al. (o.J.) untersuchten in den Jahren 1992-1994 die Auswirkungen der Aufdüngung auf drei N-Sollwerte unter Berücksichtigung des tatsächlich bodenbürtigen N-Angebotes u.a. auf die Restnitratgehalte im Boden zum Zeitpunkt der Maisernte in NRW. Bei Böden mit hoher N-Nachlieferung aus dem Boden wurden zu Kulturende durchschnittlich 48 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ erzielt und bei Böden mit geringem N-Nachlieferungspotential 20 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$. Die Autoren empfehlen auf vielen Standorten, insbesondere in den Betrieben mit hohem Viehbesatz, auf eine sehr restriktive N-Düngung zu achten. Denn so können nach KANSY & VETTER (o.J.) Tierhaltungsbetriebe mit regelmäßiger Mist- oder Gülleausbringung mit einer N-Nachlieferung des Bodens von 35 kg N/ha rechnen, weshalb eine Mineraldüngung aufgrund dieser Nachwirkung um 35 kg N/ha bzw. um 40 kg N/ha bei einer direkten Wirtschaftsdüngerwirkung reduziert werden sollte.

Erst bei der Nachkultur von Körnermais, dem Winterweizen, wurden im Thurgau zwischen dem 22.-27.02.06 N_{\min} -Proben mit durchschnittlich 40 kg N/ha gezogen. AFFOLTER (2006) empfiehlt, zu Winterweizen eine erste Gabe von 45-55 kg N/ha zu Vegetationsbeginn zu geben, die jedoch um 10-30 kg N/ha erhöht werden sollte, wenn Maisstroh eingearbeitet wurde.

3.1.2 N-Dynamik nach Gülleausbringung

Die Ausbringung von Gülle im frühen Herbst oder zeitigen Frühjahr beinhaltet die Gefahr der Nitratverlagerung und ist nicht am Pflanzenbedarf orientiert (LÜTKE ENTRUP, 1999). Somit wird das N-Auswaschungspotential bei Nichtaufnahme des N's der nachfolgenden Kultur erhöht.

Im Unterelsass wurden die Möglichkeiten einer Gülleausbringung im Herbst näher geprüft, indem Gülle nach der Maiskultur (Silomais bzw. Körnermais) zu verschiedenen Zeitpunkten (November bzw. Januar) ausgebracht wurde und die N-Dynamik bei ebenfalls variierenden Pflugterminen (November bzw. Januar) untersucht wurde (KANSY & VETTER, o.J.). Erst im nächsten Jahr wurde erneut Mais angebaut. Die Autoren erzielten folgende Ergebnisse: Bei *Böden mit mittlerer bis starker Nitratwaschungsgefährdung* waren die Auswaschungsverluste (07.11.1996-23.01.1997) ohne N-Ausgleichsdüngung bei Körnermais geringer als bei Silomais, was auf die mögliche N-Festlegung durch das Stroh zurückgeführt wurde. Sowohl bei Körnermais als auch bei Silomais (jeweils ohne Gülle) stiegen die Nitratwerte nach einem warmen März mit günstigen Bedingungen für die Mineralisierung der organischen Substanz im April signifikant an. Nach der Ausbringung der Gülle (Gülle im November: 344 kg N/ha, Gülle im Januar: 234 kg N/ha) fand sich ein großer Teil des in der Gülle enthaltenen N's nicht im Boden wieder. Wurde die Gülle im November ausgebracht, stieg der N_{\min} -Gehalt im Boden an und ein großer Teil des Gülle-N's war ab Januar in den auswaschungsgefährdeten Horizonten. N-Auswaschungen mussten auch im Zeitraum zwischen der Februar- und Aprilmessung eingetreten sein. Nach der Gülleausbringung im Januar stiegen die Bodennitratgehalte sehr deutlich, jedoch in einem Zeitraum mit geringerer Auswaschungswahrscheinlichkeit. Wurde nach der Gülleausbringung im Januar gepflügt, erhöhten sich die Nitratwerte langsamer, da der N zum Abbau des frisch eingepflügten Strohs verwendet wurde. Bei *Böden mit sehr geringer Nitratwaschungsgefährdung* erhöhte eine Gülleausbringung im November oder Dezember (30 m³) unter den Bedingungen eines durchschnittlichen elsässischen Winters mit Niederschlägen zwischen Oktober und Februar im Bereich von 200-300 mm die Nitratverluste nicht signifikant. KANSY & VETTER (o.J.) schlussfolgerten, dass unter den getesteten Witterungsverhältnissen eine Gülleausbringung auf gehäckselte Maisstoppel dem Boden einen N-Vorrat einzubringen scheint, der umso eher mineralisiert und folglich auswaschungsgefährdet ist, wenn die Ausbringung im Herbst erfolgte und gleich eingepflügt wird. Wird die Gülle

im Januar ausgebracht, scheint das Pflügen im Herbst erst einmal die N-Festlegung zu begünstigen, im Frühjahr wird N dann jedoch massiv freigesetzt. Wird jedoch erst im Januar, gleich nach der Ausbringung gepflügt, scheint ebenfalls eine N-Festlegung stattzufinden, jedoch zeitlich verzögert, so dass bei steigenden Temperaturen im Frühjahr ein Teil dieses N's noch in organischer Bindung vorliegt und so einer geringeren Auswaschungsgefahr ausgesetzt ist. Die Ausbringung auf Maisstroh ist weniger ungünstig als die Ausbringung nach Silomais, da bei der Strohumsatzung N in Höhe von ca. 30 kg N/ha gebunden wird.

3.2 Biochemische Eigenschaften von Maisstroh

Grundsätzlich kann angenommen werden, dass gewisse Unterschiede in der Umsetzung von Maisstroh im Vergleich zu Getreidestroh vorhanden sind, da sich beide Stroharten in ihrer Zusammensetzung unterscheiden.

3.2.1 C/N-Verhältnis

Die Umsetzung von Ernterückständen wird u.a. von dessen C/N-Verhältnis beeinflusst. Maisstroh hat ein C/N-Verhältnis von 50:1 bei praxisüblicher und von 70:1 bei langfristig unterlassener N-Düngung, während das von Weizenstroh bei 80:1 bzw. 150:1 liegt (BISCHOFF, o.J.). Aufgrund dieses günstigen C/N-Verhältnisses und der im Oktober/November einsetzenden Rotte ist laut Autor eine N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh nicht notwendig.

3.2.2 Inhaltsstoffe

Maisstroh unterscheidet sich von Getreidestroh durch seine höheren Anteile an leicht umsetzbaren Komponenten (MÜLLER et al., 1998). So enthalten Maisstengel annähernd 20% an Mono- und Disacchariden (AMBERGER & WAGNER, 1965). Gerade der hohe Anteil an leicht abbaubaren Stoffen lässt erwarten, dass Maisstroh sich bei der Umsetzung im Boden anders verhält als die übrigen Stroharten (MASSEN, 1973). So stellte DANNEBERG (1970) nach Literatursichtung fest, dass die Abbau-geschwindigkeit in der Reihenfolge Maisstroh – Haferstroh – Roggenstroh zurückgeht. Maisstroh enthält wesentlich weniger Rohfasern und fast doppelt soviel Asche wie Roggenstroh, was eine günstigere Mineralstoffversorgung der Mikroorganismen bedeutet. Vor allem aber ist bei Mais der Eiweißgehalt um mehr als das Doppelte höher. Weizenstroh ist eher noch langsamer zersetzlich als Roggenstroh, zumal die

biologische Aufschließbarkeit des N bei Weizenstroh geringer ist als bei Roggenstroh.

3.3 N-Umsetzung von Maisstroh

Die Ernterückstände von Körnermais (ohne Wurzelmasse) hinterlassen dem Boden bei praxisüblicher Düngung 50-60 kg N/ha (BISCHOFF, o.J.). Diese relativ hohe N-Menge wirft Fragen zu deren Umsetzungsverhalten auf und wurde in der Vergangenheit in mehreren Arbeiten mit und ohne N-Zusatzdüngung näher untersucht.

3.3.1 Mineralisation ohne N-Zusatzdüngung

MARY et al. (1996) zitierten einen Inkubationsversuch (25°C), in dem Maisstroh zunächst immobilisiert wurde. Die N-Immobilisation betrug zwischen 1-9 Wochen nahezu konstant 25%. Von diesem immobilisierten N wurden nach 10 Wochen ca. 18%, nach 20 Wochen ca. 23% und nach 30 Wochen ca. 30% des immobilisierten N's wieder remineralisiert. In Untersuchungen von LIEBICH et al. (2006) mineralisierten innerhalb von 6 Wochen 41% des ¹⁴C-markierten Maisstrohs bei 20°C.

3.3.2 Mineralisation mit N-Zusatzdüngung

MASSEN (1973) zeigte in einem Umsetzungsversuch mit Zugaben von ¹⁴C-markiertem Grünmais (42% C, 0.92% N, C/N: 45.6 bzw. 37.7% C, 0.67% N, C/N: 56.7) und mineralischem N, dass der Abbau in den ersten 10 Tagen mit über 40% der zugefügten Massen am intensivsten verlief. Danach erfolgte der Abbau nur noch langsam und nach 119 Tagen war mehr als 1/3 des verabreichten C's im Boden vorhanden.

DANNEBERG (1970) untersuchte im Modellversuch mit Maisstroh, welches gemeinsam mit ¹⁵N-markiertem N einer aeroben Verrottung unterworfen wurde, den Aufbau von Huminstoffen und dem damit verbundenen Umbau von N in Abhängigkeit der Rotteprozesse. In einem ersten Vorversuch (75 Tage) ergab die Rotte von Maisstroh (Blätter + Lieschen: 0.93% N, 3-5 cm) zum Versuchsende einen bedeutenden Verlust an N von 42-59%. Der Zusatz von mineralischem N (Ammoniumsulfat, Kaliumnitrat) erhöhte in den meisten Fällen die Gesamtmenge an organisch gebundenem N. Bei einem zweiten Vorversuch (30 Tage) mit Ammoniumsulfat wiesen deutliche Umbauvorgänge mit gegenläufigen Veränderungen der Mengen an organischem und mineralischem N auf eine rege Mikroorganismenaktivität hin. Dannebergs Hauptversuch

(180 Tage, 20°C) gliederte sich in eine N-reiche Reihe (Maisstroh: 44.3% C, 2.95% N, C/N: 15, ¹⁵N-markiert, 5 cm) ohne Zusatz von Mineral-N und eine N-arme Reihe (Maisstroh: 42% C, 1.06% N, C/N: 39.6, 5 cm) mit Zusatz von 4 mg N/g Pflanzenmasse (¹⁵N-markiertes Ammoniumsulfat), womit bei der N-armen Reihe ein C/N-Verhältnis von 29 eingestellt wurde. Wie bei den Vorversuchen wurde zur Verrottung des Maisstrohs Wasser, KH₂PO₄, MgSO₄ · 7 H₂O, Bodensuspension, evtl. CaCO₃ und evtl. markierter Mineral-N zugegeben. Nach ca. 3 Monaten hatten die Proben ein erdiges, krümeliges Aussehen angenommen, das sich bis zum Versuchsende kaum noch änderte. Das C/N-Verhältnis der organischen Substanz wurde bei der N-armen Reihe auf mehr als die Hälfte verengt. Insbesondere nach 10 Tagen kam es zu einer starken Erniedrigung, was sowohl auf den Abbau C-reicher Pflanzensubstanz als auch auf den Aufbau N-haltiger organischer Produkte zurückzuführen war. Bei der N-reichen Reihe erweiterte sich dagegen nach 10 Tagen das C/N-Verhältnis als Folge starker N-Verluste um etwa die Hälfte des Anfangswertes und wurde danach wieder enger. Die Verengung des C/N-Verhältnisses verlief bei beiden Reihen am Anfang sehr schnell, wurde mit zunehmender Versuchsdauer immer langsamer und blieb nach 90-180 Tagen bei beiden Reihen unverändert. Der Gesamt-N-Gehalt stieg bis zum Versuchsende stark an, was als reine Anreicherung durch den verstärkten Abbau C-reicher Substanz gedeutet werden muss. Der Anstieg des organischen N's war, besonders nach 10 Tagen, neben einer Relativanreicherung auch auf einen echten Zuwachs durch Nettoimmobilisierung zurückzuführen. Die Dynamik der Ab- und Aufbauprozesse ging rasch vonstatten, die wesentlichste Synthese verlief in beiden Reihen innerhalb der ersten 10 Tage. In dieser Zeit erfolgte der Aufbau der maximalen Menge von Huminsäuren und der Einbau von ¹⁵N in dieselben. Die Stabilität der gebildeten Huminsäuren war offenbar gering, denn bedeutende Anteile wurden während des Versuches wieder abgebaut. Perioden des Aufbaues von Huminstoffen scheinen mit Zeiten verstärkten Abbaus zu wechseln (nach 20 Tagen: Rückgang, nach 30 Tagen: Anstieg). Die Tendenz der Auf- und Abbauprozesse wurde offensichtlich vom C/N-Verhältnis beeinflusst. Bei niedrigerem Ausgangs-C/N herrschte bis zu 90 Tagen der Aufbau von Huminstoffen vor, dann dominierte der Abbau. Dagegen scheint bei hohem Ausgangs-C/N die Entwicklung etwas verzögert zu sein, hier war bis zum Schluss des Versuches eine fortschreitende Huminstoffsynthese festzustellen. Die längere Verrottungsdauer bewirkte eine Verschiebung innerhalb der anwesenden Stoffgruppen, da leicht zersetzliche in zunehmendem Maße ver-

schwanden und so die schwer zersetzlichen eine relative Anreicherung erfuhren. So wurde vor allem Eiweiß deutlich abgebaut. Die Nettomineralisierung von N setzte bei der N-armen Reihe nach 30 Tagen ein. Dagegen trat bei der N-reichen Reihe bereits innerhalb der ersten 10 Tage eine deutliche Nettomineralisierung ein, die dann allerdings wieder durch eine Periode der Nettoimmobilisierung abgelöst wurde. Endgültig dominierte auch hier die Mineralisierung vom 30. Tag an.

RECOUS et al. (1995) inkubierten Maisernterückstände (0.33% N, 43.6% C, C/N: 130) unter Zugabe von 0, 20, 50, 70 und 90 mg N/kg Boden ($^{15}\text{NH}_4$ $^{15}\text{NO}_3$) bei 15°C für 140 Tage. Zu Versuchsbeginn kam es zu einer N-Immobilisation, die in den beiden Varianten mit der geringsten N-Menge viel geringer war als bei den anderen Varianten. Während der Zeitspanne 44-124 Tagen wurde eine langsame Netto-Mineralisation von 11-16 mg N/kg Boden festgestellt. Die Rate der Netto-Remineralisation von N, die zuvor immobilisiert war, wurde berechnet auf 100 µg N/kg Boden/Tag.

In einem Gefäßversuch mit Sommerweizen untersuchten KICK & MASSEN (1976) während der Vegetation von 146 Tagen die N-Festlegung durch Maisstroh (50 g/Gefäß + mineralische N-Gabe mit verschiedenen Düngern). Ähnlich wie bei den zuvor zitierten Inkubationsversuchen ohne Pflanzen wurde unter günstigen Umsetzungsbedingungen die maximale N-Festlegung in etwa 3 Wochen erreicht, wonach eine langsame Mineralisation des festgelegten N's erfolgte. Die Festlegungsraten betragen bei 50 g Maisstroh/Gefäß jeweils 23% bzw. 15% des gedüngten N's bei Ammoniumnitrat und 21% bzw. 13% des gedüngten N's bei Calciumnitrat bei 1168 bzw. 1500 mg N/Gefäß. Die Autoren empfehlen, N in der Ammoniumform unter Anwendung eines Nitrifikationshemmers als Ausgleichdünger bei Maisstrohdüngung einzusetzen, falls sich durch eine gestörte Nitrifikation nicht größere Mengen an Nitrat-N anreichern, denn Nitrit ergab allgemein hohe N-Verluste, die durch die Strohgabe erheblich gefördert wurden.

POTTHOFF et al. (2005) inkubierten Maisblätterstroh (40% C, 2% N, C/N: 20) ohne bzw. mit N-Zugabe bei 15°C für 22 Tage. Die N-Zugabe erfolgte zum einen direkt zum Maisblätterstroh, bevor eine Mischung mit dem Boden stattfand, zum anderen wurde Maisblätterstroh dem N-behandelten Boden beimischt. In der zuletzt genannten Variante, ergaben sich die höchsten kumulativen N₂O Emissionen.

3.3.3 Mineralisation im Vergleich zu Getreidestroh

In einigen Arbeiten wurde sowohl die Mineralisation der Ernterückstände von Mais als auch von Getreide untersucht, weshalb diese Ergebnisse im Hinblick auf die Problemstellung, ob Maisstroh in der Düngeverordnung wie Getreidestroh behandelt werden sollte, besonders interessant sind.

MARY et al. (1996) berichten von verschiedenen Versuchen aus der Literatur mit einer maximalen Netto-N-Immobilisation bei Maisstroh (C/N: 130) von 27% und bei Weizenstroh (C/N: 100) von 28% (allerdings unterschiedliche Autoren) und einer N-Immobilisation von Weizenstroh von 26-31 mg N/g C. Auch bei MÜLLER et al. (1998) kam es anfangs mit Mais (45% C, 1.4% N, C/N: 32) und Gerstenstroh (45% C, 0.63% N, C/N: 72) zu einer Immobilisation, später aber zu einer Netto-N-Mineralisation. Dabei geschah die N-Mineralisation früher und intensiver nach der Einarbeitung von Mais.

RASSADI (1969) inkubierte bei 18°C für 50 Wochen Weizenstroh (0.49% N, 52.6% C, C/N: 107), bzw. für 40 Wochen Maisstroh nach Blättern (1.07% N, 40.7% C, C/N: 38), Stengeln (0.54% N, 41.0% C, C/N: 76) und Spindeln (0.39% N, 39.4% C, C/N: 100) getrennt. Gedüngt wurde mit 1 bzw. 1.5 Gew. %N (bezogen auf TS im Stroh) in Form von Harnstoff bzw. Kalkstickstoff. Der Abbau erfolgte am schnellsten in den Maisblättern und am langsamsten in den Maisspindeln. Eine Förderung des Abbaus durch N-Zusatz wurde bei allen Stroharten festgestellt, wobei durch Kalkstickstoff engere C/N-Verhältnisse erzielt wurden als durch Harnstoff. Die organische Substanz des Weizenstrohs wurde schwerer zersetzt als die der Maisstengel bzw. -blätter, aber leichter als die der Maisspindeln (vorhanden waren ohne N-Zusatz nach 25 Wochen in den Blättern 27, in den Stengeln 48, im Weizenstroh 61 und in den Spindeln 70% der organischen Ausgangssubstanz). Das C/N-Verhältnis des *Weizenstrohs* verengte sich ohne N-Zusatz anfangs nur langsam und betrug nach 50 Wochen 52. Mit N-Zusatz erweiterte sich das C/N-Verhältnis nach einer Woche vorübergehend teilweise sehr stark, insbesondere mit Harnstoff, wobei durch die schnelle Zersetzung des Harnstoffs große NH₃-Verluste auftraten. Nach 4-5 Wochen Rotte waren die Ausgangswerte wieder erreicht und das C/N-Verhältnis verengte sich allmählich. Aufgrund der langsameren Ammoniakentwicklung mit Kalkstickstoff wurden am Ende engere C/N-Verhältnisse erreicht als mit Harnstoff. Das C/N-Verhältnis von *Maisstrohblättern* verengte sich mit N-Zusatz innerhalb von 5 Wochen auf 12-22 und

betrug nach 40 Wochen 8-11. Das C/N-Verhältnis der *Maisstrohstengel* verengte sich ohne N-Zusatz sehr langsam von 76 auf 38 in der 25. Woche und betrug nach 40 Wochen 16. Durch N-Zusatz wurde der Abbau beschleunigt (RASSADI, 1969). Die Zersetzung des Stengelmaterials wurde begünstigt durch den hohen Gehalt an biologisch leicht zersetzbaren Zuckerfraktionen (AMBERGER et al., 1971). Das C/N-Verhältnis der *Maisstrohspeindeln* veränderte sich besonders in den ersten Wochen sehr wenig und insbesondere bei N-Mangel sehr langsam. Mit Kalkstickstoff wurde der Abbau gleichmäßig beschleunigt. Höhere Harnstoffgaben hemmten anfangs sogar den Abbau und das C/N-Verhältnis wurde insbesondere in den ersten Wochen bedingt durch starke N-Verluste in Form von Ammoniak weiter und verengte sich erst wieder gegen Ende. Aus den Ergebnissen von RASSADI (1969) schlossen AMBERGER et al. (1971), dass aufgrund des günstigen C/N-Verhältnisses der Maisblätter (und evtl. auch der Stengel) entweder keine oder nur eine geringe N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh zur Beschleunigung der Rotte nötig ist.

3.3.4 Düngewirkung auf Nachkultur

Winterweizen beginnt erst mit der Bestockung im Frühling nennenswert zu wachsen und braucht dann N. Deshalb kann Weizen, der nach einer Maisstrohdüngung angebaut wird, im nächsten Frühling frühzeitig genug mit mineralischem N (Ammonsalpeter) oder bei guten Bodenverhältnissen mit Gülle gedüngt werden, so dass keine Ertragseinbussen, dafür aber weniger Nitratverluste resultieren (ZEHNER, 2004).

Organische Dünger haben im Gegensatz zu mineralischen Düngern auch auf Folgekulturen eine positive Wirkung. Auf Flächen, worauf Gülle ausgebracht wurde, war die Bodennachlieferung größer als auf der Flächen, worauf keine Güllegabe erfolgte (KANSY & VETTER, o.J.). Damit verbunden war eine um 45-85 kg N/ha höhere N-Aufnahme durch die Nachkultur Mais auf Gülleflächen. Die höchsten N-Aufnahmen brachte eine Güllegabe im Januar mit anschließendem Pflügen. Im Vergleich dazu erzielte eine Güllegabe im Januar mit Pflügen im November eine bedeutend geringere N-Aufnahme. Zwischen diesen beiden Varianten lag die N-Aufnahme durch den Mais bei einer Güllegabe im November, wobei allerdings auch die höhere N-Düngermenge von 344 kg N/ha im Vergleich zu 234 kg N/ha im Januar beachtet werden muss.

KÖPPEN et al. (1985) untersuchten die Wirkung einer Strohdüngung in der Fruchtfolge Körnermais, Winterweizen und Sommergerste. Zu Mais und Sommergerste

erfolgte ein N-Ausgleich von 0.5 kg N/dt Stroh in Form von Kalkammonsalpeter. In einer Variante bestand die 1. N-Gabe im Frühjahr aus Kalkammonsalpeter, während in der zweiten Variante Gülle zur Anwendung kam. In beiden Varianten erfolgte die Maisstrohdüngung zu Winterweizen ohne N-Ausgleich. In der dritten Variante wurden 300 dt/ha Gülle zu Mais ausgebracht und in der vierten Variante kam keine organische Düngung zum Einsatz. Die Gülledüngung zu Mais brachte im direkten Vergleich der Varianten beim Mais die höchsten Erträge. Signifikante Mehrerträge wurden beim Winterweizen festgestellt, wenn das Maisstroh ohne N-Ausgleich eingearbeitet wurde verglichen mit der Variante ohne organische Düngung. Diese Mehrerträge entsprachen etwa denen der Güllevariante (1. Jahr Nachwirkung). Die Gründe hierfür sehen die Autoren in der Regelmäßigkeit der Strohdüngung und dem im Vergleich zum Getreidestroh geringeren Trockenmassegehalt des Maisstrohs, der mineralischen N-Düngung zu Mais in Verbindung mit dem N-Nachlieferungsvermögen des Standortes und dem geringen Einfluss der Strohdüngung auf den N-Gehalt im Boden ab Oktober.

Im Gefäßversuch düngten KICK & MASSEN (1976) Mais mit Maisstroh in unterschiedlichen Mengen (50, 100 g/Gefäß) und Feinheiten (grob: 2-3 cm, fein: 0.5 cm) und ohne bzw. mit einer N-Ausgleichdüngung (1 g N/Gefäß) in Form von Harnstoff. Zum einen wurde die N- und Strohgabe getrennt eingemischt, zum anderen erfolgte ein Einmischen des mit Harnstofflösung getränkten Strohs. Untersucht wurde der Ertrag und N-Entzug durch Mais und durch die Nachkultur Weidelgras. Die Zerkleinerung des Maisstrohs wirkte nicht eindeutig auf die N-Entzüge der Maispflanzen, teilweise führte das feinere Maisstroh zu geringen Mindererträgen im Vergleich zur groben Variante. Durch die getrennte Einmischung des N-Düngers und des Maisstrohs konnten die Pflanzen besser mit der strohzersetzenden Mikroflora des Bodens um den N konkurrieren und die N-Entzüge waren verglichen mit der gemeinsamen Einmischung höher (durchschnittlich 60 mg N/Gefäß). Aus diesem Grund empfehlen die Autoren, bei der Düngung mit Maisstroh und einer unmittelbar nachfolgenden Bestellung einer Nachkultur den N möglichst getrennt vom Stroh zu platzieren, d.h. den N-Dünger nicht auf das im Felde liegende Stroh zu streuen, um auf diese Weise eine bessere Pflanzenverfügbarkeit des N's zu gewährleisten. KICK & MASSEN (1976) weisen ausdrücklich darauf hin, Winterweizen am besten erst im Frühjahr die erste N-Gabe zu verabreichen. Ebenso sollen ihrer Meinung nach Kulturen, die erst nach einer längeren Umsetzungszeit des im Herbst in den Boden eingearbeiteten Mais-

strohs bestellt werden, wie z.B. im Frühjahr, nicht im Herbst, sondern besser im Frühjahr bis zur obersten Grenze der N-Düngung für die vorgesehene Kultur gedüngt werden. Denn so kann nach MASSEN (1973) der Landwirt bei einer Einbringung von 100 dt Maisstroh (C/N: 57) damit rechnen, dass 50 kg N seines gleichzeitig ausgebrachten N-Düngers am Ende der Vegetation der nachfolgenden Frucht nicht mehr zur Verfügung stehen werden.

Im Gefäßversuch wurde Hafer mit 5, 10, 15, 20, 25 und 50 Wochen verrottetem Weizenstroh (0.49% N, 52.6% C, C/N: 107) bzw. mit 5, 10, 15, 20 und 25 Wochen verrottetem Maisstroh (Blätter: 1.07% N, 40.7% C, C:N: 38, Stengel: 0.54% N, 41.0% C, C/N: 76, Spindeln: 0.39% N, 39.4% C, C/N: 100) mit je 750 mg N/Gefäß ohne N-Zusatz bzw. mit 0.5% N bzw. 1.5% N als Harnstoff oder Kalkstickstoff gedüngt (RAS-SADI, 1969). Erträge von Hafer, N-Aufnahme und N-Ausnutzung stiegen mit zunehmender Rottezeit von Weizenstroh bzw. Maisstroh an. Die Erträge wurden durch N-Zusatz zur Verrottungsförderung erhöht. Weizenstroh ohne N-Zusatz blockierte ca. 30 mg Boden-N je Gefäß. Bei mit verrotteten Maisblättern gedüngtem Hafer unterschieden sich die Varianten mit und ohne Zusatzdüngung nicht wesentlich im Ertrag und N-Aufnahme. Bei Maisstrohstengeln war eine N-Blockierung fast immer mit kurzer Rottezeit (5-10 Wochen) zu erkennen, mit verrotteten Maisspindeln war die N-Blockierung fast immer sehr stark. Die Erträge der nur mineralisch gedüngten Variante wurden mit keiner Strohdüngung erreicht. Beim Vergleich der C/N-Verhältnisse der Rotteprodukte mit der N-Aufnahme durch Hafer zeigte sich, dass in den Varianten ohne Zusatzdüngung verrottete Maisblätter mit dem engsten C/N-Verhältnis die höchsten, verrottete Maisspindeln mit dem weitesten C/N-Verhältnis die geringsten N-Aufnahmen brachten. Maisstengel und Weizenstroh lagen hinsichtlich N-Aufnahme und C/N-Verhältnis in der Mitte. Ähnliche Feststellungen konnten in den Gefäßen getroffen werden, in welchen das C/N-Verhältnis durch N-Zusatz verändert wurde. Trotz gleicher C/N-Verhältnisse und einer gleich langen Rottezeit von 5 Wochen sind aus den mit Weizenstroh gedüngten Gefäßen höhere N-Mengen aufgenommen worden als aus den Gefäßen mit Maisspindeln. Die N-Aufnahme hing von dem C/N-Verhältnis, dem Anteil an wasserlöslichem N, von der Art und dem Rottegrad des zugeführten Materials sowie der Menge an noch vorhandenen mikrobiell abbaubaren Stoffen (wie Cellulose, Pentosanen, Pektinen u.a.) ab.

3.4 Bodenkundliche Aspekte

Neben der Maisernte trägt eine Gülledüngung zusätzlich zu Bodenverdichtungen bei. Als Folge kann es zu Sauerstoffmangel kommen, der sich negativ auf den Rotteprozess des Maisstrohs auswirkt (BISCHOFF, o.J.).

3.5 Phytosanitäre Aspekte

Befallene Maisrückstände sind Quelle der Fusariumübertragung. Vor allem Betriebe mit Viehhaltung und starkem Maisanbau auf wenig strukturstabilen Böden haben ein Fusariumproblem. Aus diesem Grund muss die Verrottung des Maisstrohs mit allen Mitteln beschleunigt werden (BISCHOFF, o.J.), was durch den Zerkleinerungsgrad, flache Einarbeitung und eine Strohausgleichsdüngung geleistet werden kann (STEMANN, 2004). Der Komplex N-Ausgleichsdüngung wurde von ADLER (2004) näher betrachtet. Er untersuchte, inwieweit durch Behandlung der Maisrückstände mit Kalkstickstoff, Branntkalk bzw. Gülle bei verschiedenen Mulchsaatvarianten der Infektionsdruck durch Fusariensporen und damit auch eine Fusarientoxinkontamination der Folgefrucht Winterweizen gesenkt werden kann. Jedoch führte unter verschiedenen Boden- und Klimaverhältnissen keine der geprüften phytosanitären Behandlungen generell zu einer relevanten Reduzierung der DON-Kontamination an allen Standorten. In zwei Versuchsjahren wurde eine starke Reduktion der Fusarienzahlen durch Pflügen erzielt. Auch BISCHOFF (o.J.) beurteilte einen Pflugverzicht nach Mais wegen Ährenfusariosen als kritisch, wenn Winterweizen folgen soll, denn mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität sind erhöhte Gehalte mit toxischen Stoffwechselprodukten wie Deoxynivalenol festzustellen. CLAUPEIN (2003) erzielte in den Varianten, in denen zerkleinerte Körnermaisrückstände teilweise eingearbeitet (Mulchvariante) und zusätzlich ein Fungizid auf die Rückstände appliziert wurde, einschließlich einer N-Ausgleichsdüngung und einer Kalkstickstoffstartgabe zu Weizen, die tendenziell höchsten Weizenerträge bei niedrigen Ährenbefallswerten.

Nach DOLESCHEL (2005) kann das Fusarium-Problem vorbeugend gelöst werden: durch Fruchtfolge (kein Weizen nach Mais oder Minderung/Konzentration des Maisanteils), Bodenbearbeitung/Bodenhygiene (Zerkleinerung der Maisrückstände), Pflanzenschutz (Ährenbehandlung, Verzicht auf Strobilurin-Präparate) und Sortenwahl, wobei letzteres ein wichtiger Ansatz zur Senkung des DON-Risikos ist.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Maisstroh setzte sich im Gegensatz zu Getreidestroh schneller um (DANNEBERG, 1970), was vor allem auf sein geringeres C/N-Verhältnis (BISCHOFF, o.J.) und den höheren Anteil an leicht umsetzbaren Komponenten (MÜLLER et al., 1998) zurückzuführen ist. Zwar wird wie beim Getreidestroh auch mit Maisstroh N anfangs immobilisiert und nach einer längeren Rotte wieder remineralisiert, wobei dies beim Mais früher und intensiver geschieht (MÜLLER et al., 1998). Dies sind eindeutige Gesichtspunkte, welche die in der Düngeverordnung unterschiedliche Betrachtung von Maisstroh und Getreidestroh rechtfertigen und eine Trennung dieser Stroharten sinnvoll erscheinen lassen.

Eine N-Zusatzdüngung zu Maisstroh fördert zwar den Abbau (RASSADI, 1969), nicht außer acht gelassen werden dürfen aber die negativen Auswirkungen, die eine N-Ausgleichsdüngung im Herbst mit sich zieht. So wird das N-Auswaschungspotential erhöht (LÜTKE ENTRUP, 1999) und dies umso mehr, wenn die Ausbringung im Herbst erfolgt und gleich gepflügt wird (KANSY & VETTER, o.J.). Bei einer Gülleausbringung im Januar mit anschließendem Pflügen wurde nicht nur das N-Auswaschungspotential vermindert, sondern auch die N-Aufnahme der Nachkultur erhöht (KANSY & VETTER, o.J.) – Kriterien die eindeutig für eine Güllegabe im Frühjahr, keinesfalls aber im Herbst sprechen, wie u.a. von KICK & MASSEN (1976) angemerkt wird. Dem entgegen stehen die von RASSADI (1969) erwähnten höheren Erträge durch eine N-Zusatzdüngung, wohingegen bei KÖPPEN et al. (1985) der Ertrag der Nachkultur durch eine Maisstrohdüngung ohne N-Ausgleich höher ausfiel als mit keiner organischen Düngung.

Auch aus phytosanitärer Sicht senkt eine N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh nicht den Infektionsdruck durch Fusariensporen (ADLER, 2004) bzw. ist nicht eindeutig der N-Ausgleichsdüngung zuzuordnen (CLAUPEIN, 2003). Vielmehr kann das DON-Risiko durch die Sortenwahl vorbeugend erfolgversprechend reduziert werden (DOLESCHEL, 2005).

Die Ergebnisse sprechen eindeutig dafür, dass eine N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh im Herbst unterbleiben sollte. Somit sollte in der neuen Düngeverordnung die Festlegung, dass Maisstroh nicht wie Getreidestroh bewertet werden sollte, bestehen bleiben.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Nach der neuen Düngeverordnung darf zu Getreidestroh eine N-Ausgleichsdüngung erfolgen, zu Maisstroh aber nicht. Anhand einer Literaturübersicht sollte geprüft werden, ob es gerechtfertigt ist, dass zum Maisstroh keine N-Ausgleichsdüngung ausgebracht werden darf.

Vor diesem Hintergrund fanden umweltkundliche, bodenkundliche und phytosanitäre Aspekte Beachtung. Hauptaugenmerk galt der N-Umsetzung von Maisstroh, das in seiner N-Mineralisation und aus biochemischer Sicht mit Getreidestroh verglichen wurde.

Nach der Ernte von Körnermais sind im Boden zum Teil noch hohe N_{\min} -Werte vorzufinden. Das N-Auswaschungspotential wird durch eine N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh im Herbst erhöht. Die Umsetzung von Maisstroh verläuft verglichen mit Getreidestroh schneller, da Maisstroh ein geringeres C/N-Verhältnis und einen höheren Anteil an umsetzbaren Komponenten besitzt. Durch eine N-Zugabe wurde die Rotte beschleunigt. Jedoch konnten die Erträge und die N-Aufnahme der Nachkultur sowie die Fusarientoxinkontaminationen und das DON-Risiko durch eine N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh nicht verbessert werden, wohl aber bringt ein erneutes Überfahren zusätzliche Bodenverdichtungen mit sich.

Es wurde gefolgert, dass keine N-Ausgleichsdüngung zu Maisstroh im Herbst erfolgen sollte. Die Festlegung, dass Maisstroh kein Getreidestroh ist, sollte deshalb in der Düngeverordnung bestehen bleiben.

LITERATUR

- Adler, A. (2004): Phytosanitäre Behandlung von Maisernterückständen gegen Fusarien bei pflugloser Bodenbearbeitung. AGES – Forschungsbericht 2004.
[www13.ages.at/web/ages/pictures.nsf/FilesURL/68B48C80872EABD8C12570DD0047FF42/\\$File/Projekt_21763_Phytosanitaere_Behandlung_Maisernterueckstaende.pdf](http://www13.ages.at/web/ages/pictures.nsf/FilesURL/68B48C80872EABD8C12570DD0047FF42/$File/Projekt_21763_Phytosanitaere_Behandlung_Maisernterueckstaende.pdf)
- Affolter, F. (2006): Stickstoffdüngung im Getreide – Nmin Ergebnisse 2006. Fachstelle Pflanzenbau und Düngung, LBBZ Arenenberg, Salenstein.
www.lbbz.tg.ch/documents/Ergebnisse_Nmin_Getreide_TG_2006.pdf
- Amberger, A., Wagner, A. & Rassadi, F. (1971): Über den Abbau der organischen Substanz bei der Verrottung von Maisstroh. Bayer. Landw. Jahrb. 40, 1-22.
- Amberger, A. & Wagner, A. (1965): Stoffliche Veränderungen bei der Rotte von Maisstroh. Landw. Forschung 18, 116-124.
- Bischoff, J. (o.J.): Ackerbauliche Aspekte des Maisanbaus. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt.
www1.mlu.sachsen-anhalt.de/llg/infothek/dokumente/bab_1_05_bischoff.pdf
- Claupein, W. (2003): Einfluss unterschiedlich stängelfäulebefallener Körnermaisrückstände auf den Fusarium-Ährenbefall und die Toxingehalte im Korngut von Winterweizensorten. Jahresbericht 2003, Universität Hohenheim.
www.uni-hohenheim.de/ihinger-hof/dateien/berichte_%20versuchsansteller%20_2003.pdf
- Danneberg, O. H. (1970): Huminstoffaufbau und Stickstoffumbau während der Rotte von Maisstroh. Dissertation, Hochschule für Bodenkultur, Wien.
- Doleschel, P. (2005): Fusarium bei Getreide – beherrschbar oder nicht? SGV-Ta-gung Schwabmünchen, Juni 2005.
www.lfl.bayern.de/ipz/weizen/13156/linkurl_0_8.pdf
- Kansy, F.J. & Vetter (o.J.): Stickstoffdynamik auf organisch gedüngten Maisflächen. Abschlussbericht zum Projekt A 1.1, ITADA (Institut Transformatio-nalier d'Application et de Développement Agronomique), Colmar, Frankreich.
www.itada.org/download.asp?id=A11dL.pdf
- Kick, H. & Massen, G. (1976): Stickstofffestlegung und Stickstoffverfügbarkeit bei Maisstrohdüngung. Landwirtsch. Forsch. 29, 131-140.
- Köppen, D., Eich, D. & Drechsler, K. (1985): Wirkung der Strohdüngung mit unterschiedlichem N-Ausgleich auf den Ertrag von Mais, Winterweizen und Sommergerste eines Lös-Schwarzerde-Standortes. Arch. Acker- Pflanzenb. Bodenk. 29, 619-624.
- Liebich, J., Schlöter, M., Schäffer, A., Vereecken, H. & Burauel, P. (2006): Degradation and humification of maize straw in soil microcosms inoculated with simple and complex microbial communities. European Journal of Soil Science 0 (0), ???-???. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00816.x
- Lütke Entrup, N. (1999): Umweltverträglicher Maisanbau im integrierten Landbau unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffdüngung. DLG-Wintertagung, Berlin.
- Mary, B., Recous, S., Darwis, D. & Robin, D. (1996): Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. Plant and Soil 181, 71-82.

- Massen, G. G. (1973): Vegetations- und Umsetzungsversuche zur Düngung mit Maistroh. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, Bonn.
- Müller, T., Jensen, L.S., Nielsen, N.E. & Magid, J. (1998): Turnover of carbon and nitrogen in a sandy soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in the field. *Soil Biol. Biochem.* 30, 561-571.
- Potthoff, M., Dyckmans, J., Flessa, H., Muhs, A., Beese, F. & Joergensen, R. G. (2005): Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 37, 1259-1266.
- Rassadi, F. (1969): Über die Verrottung von Weizen- bzw. Maisstroh und Wirkung der Rotteprodukte im Vegetationsversuch. Dissertation, Technische Hochschule München, München.
- Recous, S., Robin, D., Darwis, D. & Mary, B. (1995): Soil inorganic N availability: Effect on maize residue decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 27, 1529-1538.
- Stemann, G. (2004): Weizen nach Körnermais in Mulchsaat bestellen? Fachtagung in Darfeld, 03.06.2004.
www3.fh-swf.de/fbaw/download/WWnachKM_Stemann.pdf
- Wieker, H., Lütke Entrup, N., Gröblichhoff, F.-F. (o.J.): Entwicklung einer N-Düngungsstrategie zur Optimierung der N_{min}-Methode im Mais.
www3.fh-swf.de/fbaw/download/AB-Kurzfassung-MAISDueNG.pdf
- Zehner, A. (2004): Chrummenlanden Nitratpost. Nr. 12 September 2004, Landwirtschaftsamt des Kantons Schaffhausen, Schweiz.
www.gaechlingen.ch/Textfiles/nitratpost-3-2004.pdf